

# 光による2中性中間子発生反応の研究 $\gamma p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$

著者	本間 三郎
号	71
発行年	1964
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/23108">http://hdl.handle.net/10097/23108</a>

ほん ま さぶ ろう  
本 間 三 郎

授 与 学 位	理 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 3 9 年 3 月 2 5 日
学 位 記 番 号	理 博 第 7 1 号
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科・専攻の名称	東北大学大学院理学研究科（博士課程）
学 位 論 文 題 目	光による 2 中性中間子 発生反応の研究 $\gamma + p$ $\rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$
指 導 教 官	東北大学助教授 北 垣 敏 男
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 武 田 暁 東北大学教授 木 村 一 治 東北大学助教授 北 垣 敏 男

論 文 目 次

- I 序 論
- II 実 験
  - (1) X-ray beam及び液体水素ターゲット
  - (2) Counter
    - a) Anticounter
    - b)  $\gamma$ -ray counter (Sandwich Counter)
  - (3)  $\gamma$ -ray counter bias setting ( $\gamma$ -ray counting efficiency)
  - (4) Electronics (Counting system)
- III Neutral pion decay kinematics
  - (1)  $\pi^0$  counting efficiency 及び  $\pi^0$  counting method
  - (2)  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$  との区別
- IV 実験結果 (pions yield)
- V 反応断面積及び議論
- VI Acknowledgement
- VII References

## 論 文 内 容 要 旨

$\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  反応は素粒子物理上 きわめて興味ある反応の1つである。それは $\pi^0$ を含む反応について一般的に言えることであるが、反応のメカニズムが比較的純粋であるため、実験の意味づけが理論の立場からやりやすい点である。一般に光による proton からの2つの pion の発生は、次の3つの反応を持つている。すなわち

- (1)  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$
- (2)  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^+ + \pi^-$
- (3)  $\gamma + p \rightarrow n + \pi^+ + \pi^0$

である。今われわれに available な incident energy 領域 700 MeV 以下では、(2)(3)は meson current term, internal current term が main contributor であり, minor contributor として nucleon term 及び  $\gamma - 3\pi$  current が関与している。

これに対して(1)は(2)(3)の minor contributor である nucleon term 及び  $\gamma - 3\pi$  current のみが関与すると考えられている。よつて Static 理論の立場をとる CZ 理論では(1)の反応断面積を  $\cong 0$  とみている。一方 Itabashi and Ebata は(1)の反応を理論的に詳しく調べ先にのべた nucleon term と  $\gamma - 3\pi$  vertex とを用い, incident energy 650 MeV 以下で,  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  反応の断面積を得た。それによると, (1)の反応の全断面積は 650 MeV で  $1.12 \mu\text{b}$ , 600 MeV で  $0.67 \mu\text{b}$ , 550 MeV で,  $0.35 \mu\text{b}$  である。

これに対し  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  は実験的には殆んどとりあげられて来なかつた。それは、断面積が小さいと考えられていること, final 3 体であること,  $\pi^0$  を直接 detect 出来ないこと,  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$  の強い background があること, などの困難のためである。

最近 Cornell group (Feldman et al) は incident energy 930 - 1200 MeV で  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  の実験を行なつた。これは  $\gamma$ -counter で  $\pi^0$  の decay  $\gamma$  をつかまえる方法で測定したもので, その結果 lab  $50^\circ - 50^\circ$  で  $(1.05 \pm 0.09) \mu\text{b}/\text{ster}^2$  というけた違いに大きな値を出している。このことは, CZ 理論あるいは Itabashi - Ebata 理論での energy region からかなりはずれた領域での実験であるため, 彼等の理論では考えに入れなかつた。例えば核子の励起状態などの影響が重要な役をしているのかもしれないが, 依然としてその大きさには疑問が持たれる。そこでわれわれは, CZ 及び Itabashi - Ebata 理論が比較的成り立つとも思われる incident energy region 600 MeV あたりから核子の 2nd resonance が入つて来る 700 MeV 附近において, Cornell group と同じ実験方法で  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  の断面積を求めた。

Incident  $\gamma$  としては核研電子シンクロトロンの高エネルギー Bremsstrahlung beam を用い, これを hydrogen にあて, 出来た2つの  $\pi^0$  の decay  $\gamma$  の detection には Homma, Kikuchi, Kitagaki により開発された total absorption type の sandwich counter を用いた。Sandwich counter の energy spread は 200 MeV で約 50%, 600 MeV で約 30% であり, energy response は 600 MeV まで linear である。Fig 1 に実験の arrangement を示す。Target は Littauer type の liquid hydrogen target  $6\text{ cm } \phi$  であり, brems beam は target position で  $2.4\text{ cm } \phi$  になるように collimate した。Sandwich counter が charged particle を count しないように, その前に anticounter を置いた。Shield は  $15\text{ cm} \sim 20\text{ cm}$  厚の鉛である。

Sandwich counter に入つた  $\gamma$  線は, その energy に比例した大きさの pulse を出す。後でのべるように, われわれの geometry で2つの  $\gamma$ -counter が1つの  $\pi^0$  ( $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0$ ,  $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$ ) からの decay  $\gamma$  を count しないように2つの sandwich counter には 185 MeV もしくは 200

MeV の bias をかけた。この結果  $r$  の方向から  $\pi^0$  の方向を知るときの角度は不確定の大きさは約

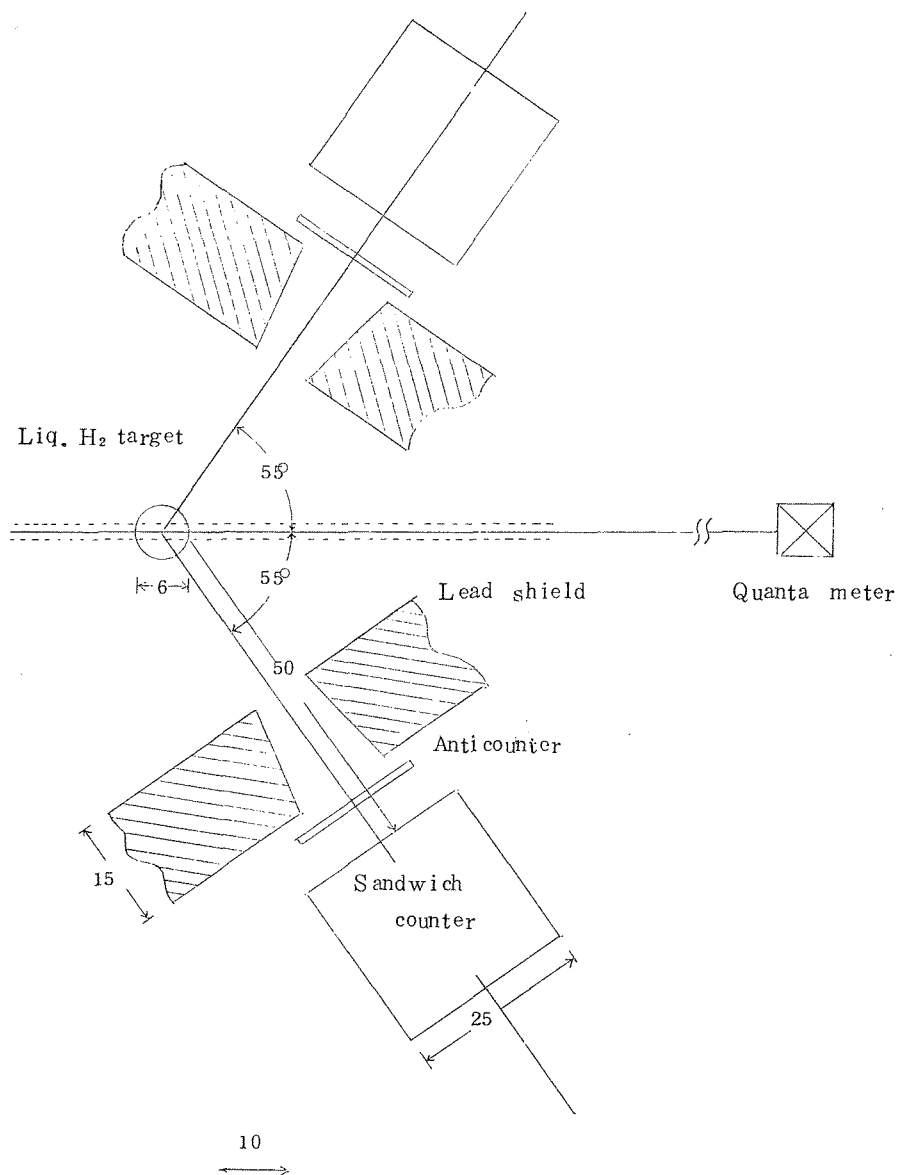


Fig. 1 Experimental geometry

20°以下となる。すなわち counter の大きさ  $\pm 20^\circ$  以内に emit した  $\pi^0$  は count に寄与する。又  $\pi^0$  の detection efficiency は、 $\pi^0$  の kinetic energy 75 MeV で 0、約 245 MeV で 1 となり、それ以上の場合は 1 を越えて行く。

2 つの counter の output は coincidence されるが、resolving time は約  $10^{-8}$  sec で、bremss beam の巾 300  $\mu\text{sec}$  のとき、random coincidence rate は本物の 30 ~ 50 % である。

与えられた pion の lab angle は本実験の場合 center of mass system では angle の spectrum に変換されるので、data は lab system であらわした。

Fig. 2 に equivalent quantum あたりの yield の brems max energy dependence を示す。ここで、

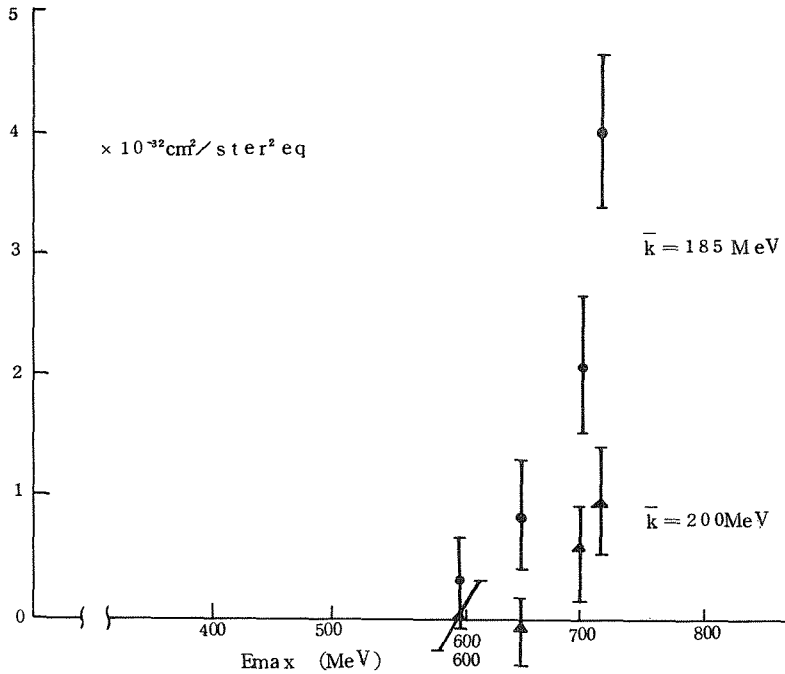


Fig 2 YIELD の kmax DEPENDENCE

yield は次の式で define したものである。

$$Y = \frac{R_{\pi^0\pi^0}}{N \cdot \Delta\Omega \cdot \Delta\Omega \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot Q}$$

$R_{\pi^0\pi^0}$  は counting rate,  $N$  は target の  $1 \text{ cm}^2$  あたりの proton 数,  $\Delta\Omega$  は  $r$ -counter の solid-angle,  $Q$  は equivalent quantum である。  $\eta_1 \eta_2$  は  $r$ -counter に よる  $\pi^0$  の detection efficiency である。  $\eta$  は  $\pi^0$  の momentum の函数であるため、lab で の momentum spectrum が わかっているときは estimation することが出来ない。現在までのところ  $r + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  反応の  $\pi^0$  の momentum spectrum についての知識は何もないので、Feldman et al と同様  $\eta_1 \eta_2 \cong 1$  という近似をおいた。しかしながら phase volume だけから考えるとこの近似は必ずしも悪くないが sandwich counter の bias を 185 MeV とした場合と 200 MeV とした場合とで値が多少異なるのは momentum spectrum による  $\eta_1 \times \eta_2$  の変化とみられる。Fig. 2 をみると yield は 600 MeV ではかなり小さいが 650 MeV 以上で急速に大きくなっていることがわかる。

本実験で  $r + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  以外の event を count する可能性を考えると、(I)  $r + p \rightarrow p + \pi^0$  (II)  $r + p \rightarrow p + \pi^0 + r$  (III)  $r + p \rightarrow p + r + r$  (IV)  $r + p \rightarrow n + \pi^+ + \pi^0$  がある。(I) については、同じ 1 つの  $\pi^0$  からの 2 つの decay  $r$  を 2 つの sandwich counter が count するときは、われわれの geometry では、必ず一方の  $r$  の energy は kinematical に考えると 100 MeV 以下となる。そこで counter の分解能を考えに入れても 185 MeV あるいは 200 MeV の bias を 2 つの counter にかけるかぎり (I) の count は reject できる。

又(III)の反応は今日まで理論的にも実験的にも調べられたことのない反応であるが、 $\gamma + p \rightarrow p + \gamma$  反応から類すいて考えると、きわめて小さく問題外である。一番問題となるのは(IV)の反応である。これは sandwich counter が 1cm 厚の plastic を積み重ねて作られた counter であるため、neutron を detect する可能性があるからである。(IV)の反応で出来る neutron の max kinetic energy は、われわれの geometry で約 150 MeV 以下である。一方 sandwich counter の neutron counting は bias がかけられているため 50 MeV で 0.06 %, 100 MeV で 1.3 %, 150 MeV で 2.3 % と計算される。 $\gamma + p \rightarrow n + \pi^+ + \pi^0$  の断面積を  $\sim 1 \mu\text{b}/\text{ster}^2 \text{ lab}$  と仮定すると  $\pi^+ \pi^0$  からの寄与は、われわれの yield のうち約 15 % であるのでこれを補正した。一方 sandwich counter を  $\gamma$ -telescope で置きかえて実験を行い、上の estimation を確めた。

Fig. 3 は yield を微分して得た値を先の Cornell group の data と一緒に plot したものである。微分するときの bremsstrahlung の形は  $1/k$  になっているという近似をもちいた。これは高エネルギーで、大きい  $k$  で微分するときには、比較的良好な近似で、その error は約 10 % 以下である。本実験には各種の systematic error が存在するが、Fig. 2 及び 3 では統計 error のみを示した。

本実験から結論的に言えることは、本実験が、かなりの systematic error 及び統計 error を含むものではあるが、incident energy 650 MeV 以下では、CZ 理論あるいは Itabashi Etaba 理論の予想通り  $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  反応は殆んど 0 に近い yield を与える。しかしながら、彼等の理論の適応は  $k$  をこえる 650 MeV から 700 MeV 以上では確かに yield が大きくなる傾向にある。そして 600  $\sim$  700 MeV の平均の断面積は  $\sim 1 \times 10^{-32} \text{ cm}^2/\text{ster}^2 \text{ lab}$  程度であり、おおまかに考えて Itabashi - Etaba の計算値の数倍の値である。

本実験値と Cornell group の実験値とをあわせ考えると、low energy 領域では CZ 理論、Itabashi 理論は良い近似を与えるがその適応は  $k$  をこえて high energy になると、何らかの現象が関与して来るため、 $\gamma + p \rightarrow p + \pi^0 + \pi^0$  反応が enhance されるものと考えられる。

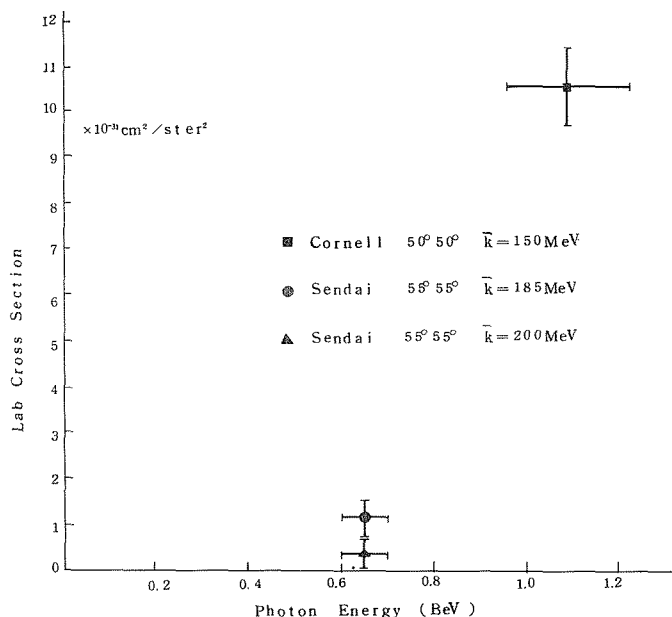


Fig 3  $\gamma + p \rightarrow \pi^0 + \pi^0$  Lab Differential Cross Section

## 論 文 審 査 要 旨

本論文は高エネルギー光子による陽子からの2中性中間子発生反応の断面積測定に関する研究報告である。

光による陽子からの2中間子発生の理論としては650 MeV以下のエネルギー領域において近似が良いと考えられるカトコスキーザハライセンの理論があり、之によれば2中性中間子の同時発生は禁止される。更に之を拡張して板橋、江幡の理論では、荷電中間子を含む2中間子発生の際には重要でない核子による磁気双極子吸収の項及び $\gamma - 3\pi$ バーテックスの項が計算され、之が2中性中間子の発生に $1 \times 10^{-30} \text{ cm}^2$ 程度の小さい寄与を与え得ることが示されている。一方此の反応に対する実験的測定はその技術的な困難のために乏しく、僅かに1つの測定例であるフェルドマン等の測定は上記理論の範囲から離れていると考えられる1000 MeV領域で、しかもその値は以上の理論とは到底あわし得ない $10 \times 10^{-30} \text{ cm}^2$ 程度を示し、種々の疑問を投じて来た。

著者は東京大学原子核研究所の750 MeV電子シンクロトロンを用い、理論と対応すべき未測定領域において2中性中間子の同時発生の反応断面積を測定したが、測定方法としては電子シンクロトロンのX線ビームを液体水素ターゲットに於て同時発生する2個の中性中間子を2対の $r$ 測定系のコインデンスとして測定した。此の $r$ 測定系の主要部であるサンドイッチ型シャワーカウンターは先に此の目的のために著者等が東北大学において開発したものである。本測定は小断面積の測定であるため誤認し得る他反応に対しては特に注意が払われており、例えば最も混入の危険のある単独に発生した中性中間子の崩壊により生ずる2個の $r$ の同時計数に対しては計数装置の幾何学的配置と、サイドイッチ型カウンターのエネルギーディスクリミネーションとを組合せて力学的に之を除く配慮がなされ、結果より見て之は大体成功したものと判断される。

測定の結果は測定系にかかる閾値430 MeVより650 MeV迄の $r$ エネルギーに対しては断面積は0に近く $1 \times 10^{-30} \text{ cm}^2$ 以下であることが示されたが、之は先述の理論と矛盾しない結果である。更に高いエネルギー領域の150 - 730 MeVにおいては断面積の急激な立上りが示され数 $10^{-30} \text{ cm}^2$ に達するが之は板橋等の理論値の数倍を与える。著者は之は此のエネルギー領域においては核子の第2励起状態等が引き前述理論の近似の妥当性が失われるためと結論している。

本測定の結果は厳密には2中性中間子発生反応の上限を与えたものと考えらるべきものであるが、従来全く測定がなく疑問のあつた650 MeV以下の領域において理論に一つの確認を与え、又之に続く高エネルギー領域での定性的知見を与えたものであつて、此の分野に対する価値あるものと認められる。よつて本間三郎提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。